

Test & Measurements DIY Tools



IN QUESTO NUMERO:

PROGETTO DI UN AMPLIFICATORE A BASSO RUMORE

IL RUOLO DELLA SIMULAZIONE NELL’AFFIDABILITÀ DI CHIP E SEMICONDUTTORI

CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA - L’OSCILLATORE HARTLEY

E MOLTI ALTRI ARTICOLI E PROGETTI!

 **Diotec**
Semiconductor



DIODI, TRANSISTORI E STABILIZZATORI PER CIRCUITI DI ALIMENTAZIONE >



TME Italia S.r.l.
Grassobbio (BG), tme@tme-italia.it

Ci trovi su:      

tme.eu

YOU NEED IT, WE HAVE IT!

■ ■ ■ ■ tme.com ■

COSA LEGGERAI NEL 2026?

<i>TOPICS</i>	<i>MAKERS ZONE</i>	<i>DATA DI PUBBLICAZIONE</i>
IoT	Cybersecurity	1 Febbraio
Artificial Intelligence	Edge Machine Learning	1 Marzo
Power/Motor	Green Energy	1 Aprile
PCB	Microcontrollers	1 Maggio
Test & Measurements	DIY Tools	1 Giugno
Automotive	Sensors	1 Luglio
Open-Source	Development Boards	1 Settembre
Wireless/RF	LoRa Networks	1 Ottobre
Industry 4.0	Automation & Robotics	1 Novembre
Healthcare	Medical Wearable	1 Dicembre

Misurare l'invisibile

Il futuro del T&M tra dati, AI e complessità

Cari lettori,
c'è stato un tempo, neanche tanto lontano, in cui il test e la misura erano considerati l'ultimo miglio dello sviluppo elettronico. Necessari, certo, ma raramente protagonisti. Oggi non è più così. Il settore Test&Measurements è diventato un nodo strategico, un punto di convergenza tra progettazione, validazione e persino manutenzione predittiva. Il cambiamento profondo è trainato da tre forze principali: complessità dei sistemi, digitalizzazione dei processi e integrazione dell'Intelligenza Artificiale. Sicuramente ve ne sarete accorti anche voi, lavorando ogni giorno tra oscilloscopi, analizzatori di spettro e piattaforme software sempre più intelligenti e veloci.

I dispositivi che progettiamo (ad esempio i sistemi embedded, i nodi IoT, l'elettronica automotive, etc.) sono sempre più interconnessi e difficili da caratterizzare, e questo rende il test più sofisticato e più critico. Stiamo andando oltre la semplice verifica del corretto funzionamento di un dispositivo. Oggi occorre capire come, quando e perché potrebbe non funzionare. E in questo ci aiuta la rapida evoluzione degli strumenti. Le piattaforme di misura diventano intelligenti, modulari, software-defined, spesso controllabili via API e integrabili nel nostro flusso di lavoro, mentre il laboratorio si sposta, almeno in parte, nel cloud. Ed ecco entrare in gioco una delle novità più interessanti, l'analisi automatizzata dei dati di misura, strumento prezioso che aiuta i progettisti nell'estrarre insight da volumi di dati che un tempo sarebbero stati ingestibili. L'evoluzione dei sistemi T&M abbraccia anche l'adozione dell'AI. Si vedono già applicazioni concrete come diagnostica predittiva, riconoscimento di pattern anomali, ottimizzazione dei setup di test, che allontanano progressivamente l'AI dalla prima fase sperimentale. Certo, non siamo ancora al punto in cui una macchina sostituisce l'ingegnere, ma il supporto che può offrire è sempre più rilevante. E questo apre anche ad una riflessione. **Quanto siamo pronti, come professionisti, a fidarci di questi strumenti?**

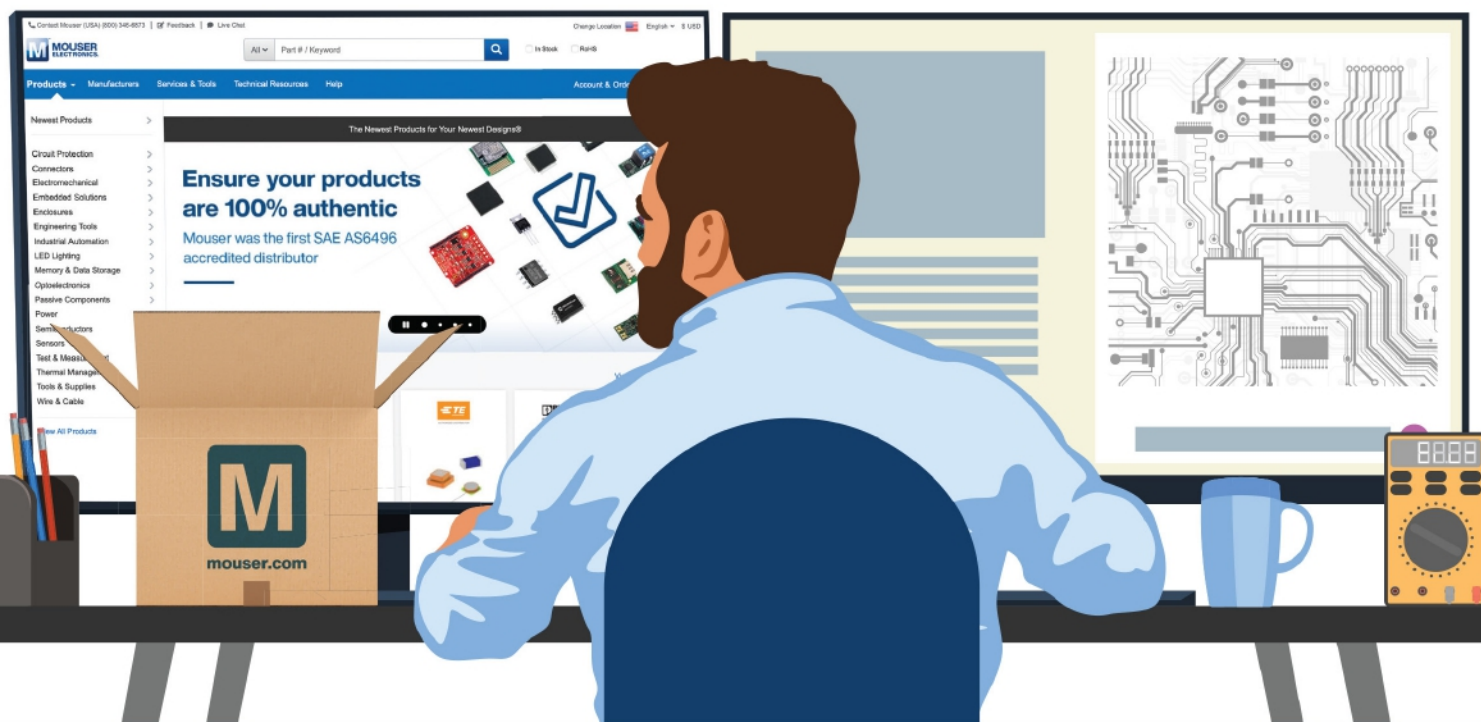
Analizzando il mercato T&M, le prospettive sembrano solide. La spinta arriva da settori strategici come automotive (con l'elettrificazione e l'ADAS), telecomunicazioni (5G e oltre) e Industria 4.0. Tutti ambiti in cui la qualità e l'affidabilità non sono parametri negoziabili, e dove il test diventa un elemento distintivo, non un costo da comprimere. Ma c'è anche una sfida di carattere culturale. Il mondo delle misure richiede competenze sempre più ibride che spaziano dall'elettronica al software, fino alla data analysis. **Non basta più saper usare uno strumento, bisogna comprendere il preciso contesto in cui quel dato nasce e viene utilizzato.** E allora la domanda è aperta. Siete pronti a ripensare il vostro modo di misurare? Perché, in fondo, misurare significa conoscere. E oggi, più che mai, conoscere è potere progettuale.

Buona lettura!

Giordana Francesca Brescia

Tu progetti. Noi consegniamo.

Prodotti d'avanguardia per progetti innovativi™



[mouser.it/new](https://www.mouser.it/new)



Test&Measurements DIY Tools



Founder&Editor

Emanuele Bonanni

CFO

Lidia Balica

Editorial Assistant

Maria Pisani

Maker in Chief

Giordana Francesca Brescia

Advertising & Marketing

Cristian Balica
cristian@contangosl.com

Graphic Designer

Marilde Mirra

Circulation

Users - 149.528
Social Network - 130.334

© Copyright

Tutti i diritti di riproduzione o di traduzione degli articoli pubblicati sono riservati.

Manoscritti e disegni sono di proprietà di Contango SL.

È vietata la riproduzione anche parziale degli articoli salvo espressa autorizzazione scritta dell'editore.

I contenuti pubblicitari sono riportati senza responsabilità, a puro titolo informativo.

EDITORIALE

MISURARE L'INVISIBILE:
IL FUTURO DEL T&M TRA
DATI, AI E COMPLESSITÀ

3

MERCATO TEST &
MEASUREMENTS: CRESCITA
STABILE TRAINATA DA
5G, AUTOMOTIVE ED ELETTRONICA
AVANZATA

7

PROGETTO DI UN
AMPLIFICATORE A BASSO
RUMORE

9

METODI DI CALIBRAZIONE
PER STRUMENTI DIY:
DALLA TEORIA ALLA
PRATICA

13

PCB FLEX E RIGID-FLEX.
TECNOLOGIE, VANTAGGI
E PRODUZIONE
AVANZATA CON PCBWAY

16

I MIGLIORI TOOL DI
SIMULAZIONE PER
LA PROGETTAZIONE
ELETTRONICA

21

COREENERGY DI APACER:
L'EFFICIENZA ENERGETICA
INTELLIGENTE PER LO
STORAGE MODERNO

24

IL RUOLO DELLA
SIMULAZIONE
NELL'AFFIDABILITÀ DI
CHIP E SEMICONDUTTORI

27

INTELLIGENZA
ARTIFICIALE PER
IL DEBUGGING
AUTOMATICO DI CIRCUITI
ELETTRONICI

29

COME LEGGERE UN
DATASHEET IN MODO
PROFESSIONALE

31

IL NUOVO OSCILLOSCOPIO
KEYSIGHT INFINIUM XR8
PER I TEST AD ALTA
VELOCITÀ

33

COME FUNZIONA UN
TRASFORMATORE
AMPEROMETRICO?

34

COME FUNZIONA UN
TRASFORMATORE
VOLTMETRICO?

36

ANALIZZIAMO LE
DIFFERENZE TRA
CALIBRAZIONE E
TARATURA

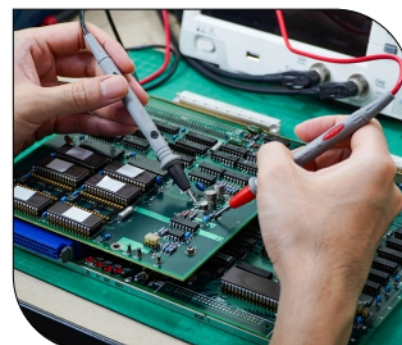
37

CORSO DI ELETTRONICA
APPLICATA -
L'OSCILLATORE HARTLEY

38

MANUTENZIONE E
VERIFICA PERIODICA
DEGLI STRUMENTI DI
MISURA

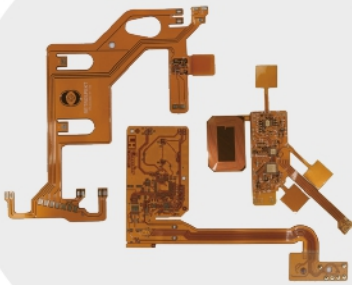
48



Il tuo partner di

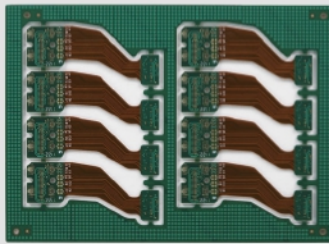
fiducia per

PCB flessibili e rigid-flex



Qualità elevata garantita

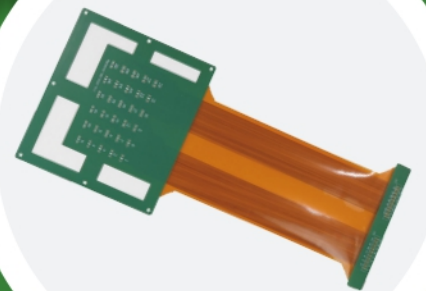
Forniamo oltre 10 report di controllo qualità e numerose certificazioni internazionali, tra cui ISO 9001, ISO 14001, CE e RoHS.



Offerta speciale

FPC da 1-2 strati A partire da soli 46,74 \$

Da 1 a 16 strati
Test elettrico al 100%
Altamente personalizzabili



Piattaforma online istantanea

Ottieni immediatamente prezzi, tempi di consegna e feedback tecnico, con assistenza clienti 24/7 e tracciamento ordini in tempo reale.



Scansiona il codice QR per maggiori informazioni.

PROGETTO DI UN AMPLIFICATORE A BASSO RUMORE

di Andrea Garrapa

*Un amplificatore a basso rumore, conosciuto semplicemente con l'acronimo inglese LNA, è un componente essenziale in tutti i progetti a radio frequenze. Il mercato fornisce dozzine di opzioni economiche per questi componenti, ma qualcuno ha pensato bene di creare il proprio LNA e di **mostrarci come si fa**. In questo articolo andremo a descrivere e ad approfondire il progetto in questione.*

INTRODUZIONE

Per prima cosa vediamo cosa è un LNA ed a cosa serve. Un **Low Noise Amplifier (LNA)** è un componente fondamentale all'interno di un **ricevitore a radio frequenze**. Spesso opera come blocco iniziale nella catena di elaborazione del segnale di un ricevitore. **La funzione primaria di un LNA è quella di aumentare la potenza dei segnali in ingresso senza degradare significativamente il rapporto segnale-rumore (SNR)**. Per poter fare ciò, gli LNA sono progettati per avere un elevato guadagno, consentendo loro di amplificare sostanzialmente i segnali deboli. Tuttavia, la loro caratteristica distintiva risiede nella bassa **figura/cifra di rumore (F)**, una misura di quanto rumore l'amplificatore introduce al segnale.

In un ricevitore RF, LNA assume la posizione di primo blocco poichè influenza le prestazioni complessive del sistema. La **formula di Friis** è un'equazione fondamentale utilizzata per comprendere la relazione tra la figura di rumore, il guadagno e gli stadi in cascata in un sistema. La formula descrive la **figura di rumore totale F_{total}** di un sistema con stadi in cascata:

$$F_{total} = F_1 + [(F_2 - 1)/G_1] + [(F_3 - 1)/G_1G_2] + \dots + [(F_N - 1)/G_1G_2 \dots G_N]$$

dove F_1, F_2, \dots, F_N sono le figure di rumore dei singoli stadi e G_1, G_2, \dots, G_N i rispettivi guadagni. La formula di Friis sottolinea alcuni aspetti fondamentali:

1. Ogni stadio aggiunge il proprio contributo al rumore complessivo della cascata.
2. Se il guadagno del primo stadio G_1 è elevato, esso riduce il contributo di rumore degli stadi successivi.
3. Allora la cifra di rumore totale dipenderà principalmente dalla cifra di rumore del primo stadio F_1 .

Quindi, se LNA ha guadagno elevato e bassa figura di

rumore, il suo posizionamento come primo blocco nella catena di ricezione è fondamentale.

IL PROGETTO

Andiamo adesso a vedere come è stato realizzato il progetto, partendo dalle specifiche.

LE SPECIFICHE

Le intenzioni dell'autore erano quelle di utilizzare il progettato LNA per la ricezione **LRPT (Low-Rate Picture Transmission)** che fornisce immagini e dati da un satellite meteorologico orbitale direttamente agli utenti finali tramite radio VHF (137 MHz). Le specifiche di progetto per questa applicazione diventano:

- **figura di rumore $F < 1$ dB**
- **guadagno $G = 15-20$ dB**
- **linearità OIP > 30 dBm**

Il significato delle prime due specifiche è stato descritto nel paragrafo precedente, mentre la linearità richiede nuove spiegazioni.

Se due toni (segnali a frequenza singola), $x_1 = \sin(\omega_1 t)$ e $x_2 = \sin(\omega_2 t)$, vengono dati in ingresso contemporaneamente ad un amplificatore ideale, in uscita si avranno idealmente gli stessi due toni amplificati. Questa proprietà prende il nome di **linearità**:

$$y = Ax \Rightarrow \text{se } x = x_1 + x_2 \text{ allora } y = Ax_1 + Ax_2$$

Ma gli amplificatori non sono perfetti e mostrano sempre un certo grado di **non linearità**. Un amplificatore con **non linearità del secondo ordine** svilupperà armoniche del secondo ordine dei due toni, più la somma e la differenza delle frequenze dei due toni:

$$y = A(x_1 + x_2) \Rightarrow \text{se } x = x_1 + x_2 \text{ allora } y = Ax_1 + Ax_2 + Ax_1^2 + Ax_2^2 + 2Ax_1x_2$$

Una **non linearità del terzo ordine** svilupperà **prodotti**

di intermodulazione ($Ax_1^2x_2$ e $Ax_1x_2^2$) ai lati dei due toni originali, ugualmente distanziati. Se l'ampiezza di entrambi i toni di ingresso viene aumentata di 1 dB, i toni di uscita aumenteranno di 1 dB ed i prodotti di intermodulazione del terzo ordine aumenteranno di 2 dB. **Continuando ad aumentare l'ampiezza dei due toni di ingresso si arriverà ad un livello di output teorico in cui tutti e quattro i toni sono alla stessa ampiezza.** Questo livello è chiamato **intercetta di uscita del terzo ordine**, o **OIP3**. Con la conoscenza dell'OIP3 di un amplificatore, è possibile calcolare il livello dei prodotti di intermodulazione del terzo ordine per un dato livello di ingresso di due segnali. Questo è importante per determinare la quantità di interferenza creata nei canali adiacenti in un sistema di comunicazione quando due o più canali sono attivi contemporaneamente.

I COMPONENTI

Date le specifiche, si possono definire i componenti da utilizzare. Per primo il **chip amplificatore**. La scelta dell'autore è caduta su PGA-103+ di *Minicircuits*, che presenta:

- una cifra di rumore che rimane pari a 1 dB fino a 3 GHz
- un guadagno di 22 dB a 400 MHz che scende a 8 dB a 3 GHz
- una OIP3 di 40 dBm

Inoltre, c'è bisogno di un'opzione per il **filtro passa banda di preselezione**. Questo filtro passa banda dovrebbe coprire l'intero intervallo delle frequenze LRPT e la banda amatoriale dei 2 m.

LO SCHEMA CIRCUITALE

Lo schema viene riportato al seguente indirizzo:

<https://nuclearambo.com/wordpress/designing-and-le->

di cui si ha bisogno, e altre specifiche come il livello del ripple e così via. Il filtro di preselezione valutato dallo strumento online si caratterizza per essere un filtro passa banda di tipo Chebyshev modificato del quarto ordine. Le frequenze di taglio, inferiore e superiore, del filtro sono pari rispettivamente a 125 MHz e 160 MHz; il ripple in banda passante, invece, è pari a 0,1 dB. I valori di induttori e condensatori con i quali il filtro è stato implementato sono riportati nello schema circuitale.

Il **chip amplificatore** PGA-103+ è semplice da usare. Tutto ciò di cui ha bisogno è una polarizzazione da 3.3V a 5V che viene fornita mediante il **regolatore di tensione** TLV1117-3.3.

Infine, i due **bias tee** richiedono una descrizione più accurata.

BIAS TEE

Un bias tee è una **rete a tre porte utilizzata per impostare il punto di polarizzazione in continua di alcuni componenti elettronici senza disturbare altri componenti**. Si tratta di un duplexer, cioè un circuito passivo che implementa il multiplexing nel dominio delle frequenze.

Delle tre porte che costituiscono il bias tee: la porta a bassa frequenza viene utilizzata per impostare la polarizzazione; la porta ad alta frequenza fa passare i segnali a radiofrequenza ma blocca la polarizzazione; la porta combinata si collega al dispositivo, che vede sia la polarizzazione che il segnale RF. Si chiama tee perché le 3 porte sono spesso disposte a forma di T.

Per le applicazioni a banda stretta, la progettazione e la costruzione di bias tee sono relativamente semplici, a condizione che venga prestata attenzione alle frequenze di taglio e alla banda passante dei componenti.

QUELLO CHE HAI LETTO E' UN ESTRATTO, L'ARTICOLO COMPLETO E' RISERVATO AGLI ABBONATI AD ELETTRONICA OPEN SOURCE.

PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

**UN ANNO DI FIRMWARE 2.0
TUTTI GLI ARTICOLI TECNICI RISERVATI
CONTEST E PROMOZIONI RISERVATI**



VOGLIO ABBONARMI!

IL RUOLO DELLA SIMULAZIONE NELL’AFFIDABILITÀ DI CHIP E SEMICONDUTTORI

di **Firmware Focus**

Attualmente, una delle maggiori sfide tecniche nello studio e nello sviluppo dell’elettronica è la miniaturizzazione, spinta dalla costante domanda di mercato di dispositivi elettronici sempre più piccoli, leggeri e portatili. Il livello raggiunto di complessità elettronica rende l’affidabilità dei semiconduttori una questione cruciale. Per questo motivo, la simulazione è diventata il principale strumento per prevedere guasti, ottimizzare le prestazioni e ridurre i costi di sviluppo, al fine di progettare chip più robusti in un contesto tecnologico sempre più esigente.

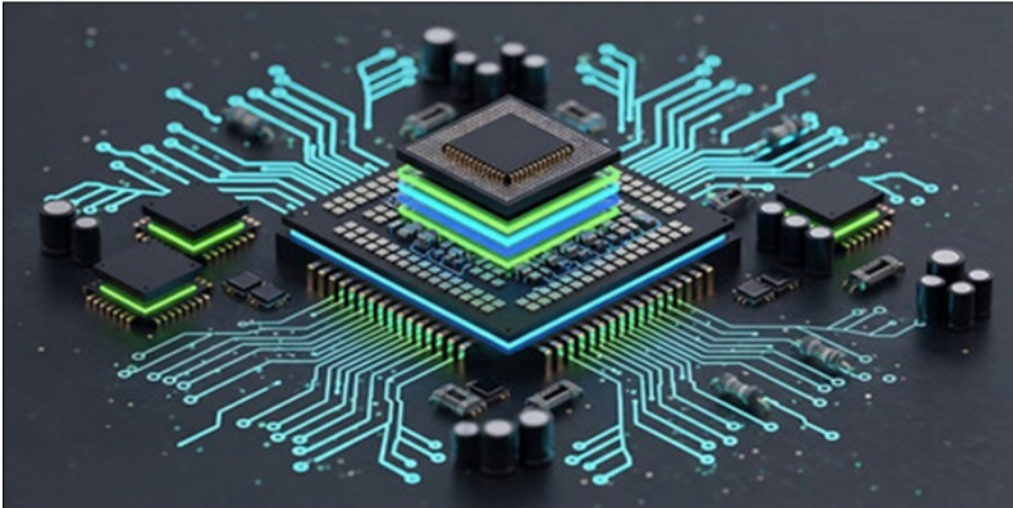
L’affidabilità dei semiconduttori determina il successo di qualsiasi sistema, dai dispositivi IoT e consumer fino alle applicazioni critiche in ambito automotive, aerospaziale e industriale. Con la miniaturizzazione spinta dei transistor e l’adozione di tecnologie sempre più sofisticate, cresce la probabilità di guasti legati a fenomeni fisici complessi, rendendo necessario un approccio progettuale che integri strumenti avanzati di analisi e previsione. Pertanto, la simulazione si impone come elemento cardine per anticipare comportamenti indesiderati e per guidare le scelte progettuali sin dalle fasi iniziali. A ciò si aggiunge che l’evoluzione dei nodi tecnologici verso processi produttivi più avanzati ha portato a dimensioni dei transistor nell’ordine dei **nanometri**, dove effetti come l’elettromigrazione, la degradazione dell’ossido di gate ed il bias temperature instability non possono più essere trascurati poiché sono diventati fattori determinanti nella vita utile di ogni dispositivo elettronico. La simulazione permette di modellare questi fenomeni con un livello di dettaglio che sarebbe impossibile ottenere attraverso la sola sperimentazione. In tal modo è possibile analizzare scenari operativi differenti e condizioni estreme senza dover ricorrere a costosi prototipi fisici. Ne deriva una considerevole riduzione dei tempi di sviluppo ed una maggiore confidenza nelle prestazioni del prodotto finale.

Parallelamente, l’integrazione di milioni, se non miliardi, di **transistor** all’interno di un singolo chip introduce nuove criticità legate alla variabilità di processo ed alle interazioni tra componenti. Le tecniche di simulazione Monte Carlo, ad esempio, permettono di valutare l’impatto delle variazioni statistiche sui parametri elettrici con l’obiettivo di fornire una **visione probabilistica** dell’affidabilità del circuito. Una tale metodologia si rivela particolarmente utile nella progettazione di circuiti

analogici e mixed-signal, dove anche piccole deviazioni rischiano di compromettere il funzionamento complessivo. Un altro aspetto riguarda la **simulazione termica**, spesso sottovalutata ma determinante per la longevità dei semiconduttori. L’aumento della densità di potenza e la riduzione delle dimensioni fisiche rendono la gestione del calore una questione complessa e prioritaria, in cui hotspot locali possono causare degrading accelerati o guasti improvvisi. **Gli strumenti di simulazione termica consentono di mappare la distribuzione della temperatura all’interno del chip e di valutare l’efficacia delle soluzioni di dissipazione**, contribuendo ad ottimizzare il layout ed i materiali utilizzati.

Inoltre, la crescente diffusione dell’**Intelligenza Artificiale** e del **Machine Learning** sta ulteriormente trasformando il ruolo della simulazione, introducendo **modelli predittivi** in grado di apprendere dai dati storici e migliorare continuamente l’accuratezza delle previsioni. La simulazione non si limita più a riprodurre fenomeni fisici, ma diventa essa stessa un sistema dinamico in grado di adattarsi e anticipare nuove condizioni operative. Ciò si traduce in una maggiore capacità di identificare failure mode emergenti e di intervenire in modo proattivo durante il ciclo di vita del prodotto.

Non meno rilevante è l’impatto della simulazione nella verifica dell’affidabilità a livello di sistema, dove l’interazione tra hardware e software introduce **ulteriori variabili da considerare**. Le piattaforme di simulazione hardware-in-the-loop permettono di testare il comportamento dei chip in **condizioni realistiche**, e di integrare modelli di sistema completi che includono sensori, attuatori e algoritmi di controllo, particolarmente efficaci nei settori automotive e industriale in cui la sicurezza e la continuità operativa sono requisiti insostituibili.



All'interno del flusso di progettazione, la simulazione si colloca in una posizione strategica, fungendo da ponte tra la fase di design e quella di validazione. L'adozione di metodologie come il *Design for Reliability* consente di integrare considerazioni legate all'affidabilità partendo dalle prime fasi del progetto, riducendo il rischio di revisioni tardive e costose. E' evidente che la simulazione diventa uno strumento decisionale per orientare le scelte progettuali sulla base di dati quantitativi e scenari realistici.

La collaborazione tra aziende produttrici di semiconduttori, fornitori di strumenti EDA e istituti di ricerca ha portato allo sviluppo di modelli sempre più accurati e standardizzati, che favoriscono la diffusione della simulazione come pratica consolidata. Tuttavia, la crescente complessità dei dispositivi richiede anche un continuo aggiornamento delle metodologie e degli strumenti, con un'attenzione particolare alla scalabilità ed all'integrazione con le tecnologie emergenti. In questo senso, l'adozione di piattaforme cloud e l'utilizzo di risorse computazionali distribuite stanno generando nuove possibilità nell'ecosistema di strumenti su larga scala. In tempi

miconduttori **si riflette anche nelle normative e negli standard di settore**, che sempre più spesso richiedono evidenze quantitative delle prestazioni e della robustezza dei dispositivi. Questo è particolarmente evidente in ambito **automotive**, dove standard come *ISO 26262* impongono rigorosi criteri di sicurezza funzionale, che rendono la simulazione uno strumento indispensabile per la certificazione finale dei sistemi.

CONCLUSIONI


Alla luce delle dinamiche attuali, appare evidente come la simulazione non sia più un semplice supporto alla progettazione, ma un elemento centrale nella definizione dell'affidabilità dei semiconduttori. La capacità di prevedere e mitigare i guasti prima della vera e propria realizzazione fisica del chip, è il requisito fondamentale che viene richiesto nella progettazione dei semiconduttori. La simulazione offre una visione approfondita dei fenomeni che influenzano l'affidabilità e permette di affrontare le nuove sfide poste dall'innovazione tecnologica. Il suo ruolo è destinato a crescere con l'aumento della complessità dei sistemi elettronici, mentre la sua integrazione nel flusso di sviluppo consente di ridurre ri-

QUELLO CHE HAI LETTO E' UN ESTRATTO, L'ARTICOLO COMPLETO E' RISERVATO AGLI ABBONATI AD ELETTRONICA OPEN SOURCE.

PERCHE' ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

UN ANNO DI **FIRMWARE 2.0**
TUTTI GLI ARTICOLI TECNICI RISERVATI
CONTEST E PROMOZIONI RISERVATI



 **VOGLIO ABBONARMI!!**

CORSO DI ELETTRONICA APPLICATA – L'OSCILLATORE HARTLEY

di Fulvio De Santis

In questo articolo faremo una panoramica introduttiva sugli oscillatori, proseguiremo con gli oscillatori sinusoidali, iniziando dal principio di funzionamento del circuito risonante LC. Inoltre, ci focalizzeremo sull'analisi di un circuito oscillatore Hartley in classe A mediante simulazioni eseguite con il software LTspice.

INTRODUZIONE

Un **oscillatore** è un dispositivo elettronico in grado di generare un segnale di varie forme d'onda ad una determinata frequenza e ampiezza di valore costante. Costituito da elementi circuitali attivi e passivi, alimentato ad una sorgente in corrente continua, l'oscillatore produce un segnale periodico in corrente alternata senza richiedere un segnale esterno in ingresso. Gli oscillatori possono essere suddivisi in due categorie principali: oscillatori sinusoidali (o armonici) e oscillatori non sinusoidali (o a rilassamento). Negli oscillatori armonici il flusso di energia è diretto dai componenti attivi verso quelli passivi, mentre la frequenza di oscillazione è determinata dal percorso di retroazione. Gli oscillatori armonici producono segnali sinusoidali a bassa distorsione, motivo per cui sono anche noti come oscillatori sinusoidali. Negli oscillatori a rilassamento, l'energia viene scambiata tra i componenti attivi e passivi, e la frequenza di oscillazione è determinata dalle costanti di tempo di carica e scarica coinvolte nel proces-

so. Gli oscillatori a rilassamento generano forme d'onda non sinusoidali (a dente di sega, triangolari o quadre), motivo per cui non sono oscillatori sinusoidali.

Oltre alla suddivisione in sinusoidali ed a rilassamento, gli oscillatori possono essere classificati anche in base a parametri e caratteristiche di funzionamento:

- tipologia di retroazione: oscillatori a feedback positivo ed a feedback negativo;
- forma dell'onda di uscita: oscillatori sinusoidali, a onda quadra o rettangolare, a dente di sega, etc.;
- frequenza del segnale di uscita: oscillatori a bassa frequenza, audio frequenza, a radiofrequenza, ad alta frequenza, ad altissima frequenza, etc.;
- tipo di controllo di frequenza: oscillatori RC, a circuito risonante LC, a cristallo (per ottenere una forma d'onda di uscita a frequenza stabilizzata), etc.;

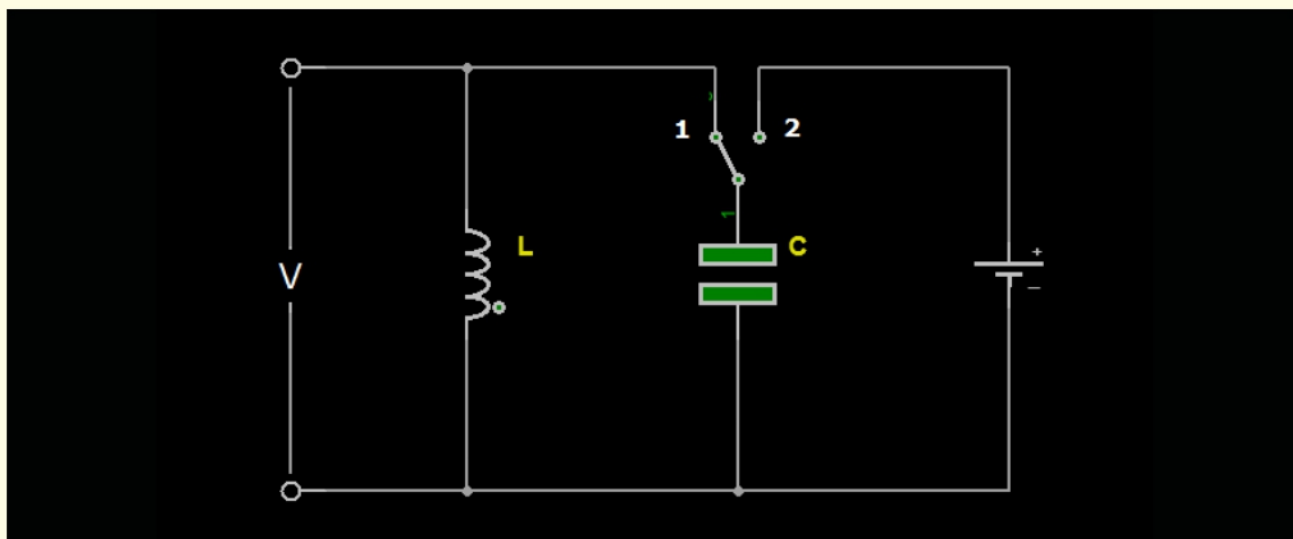


Figura 1: Oscillatore a circuito risonante LC

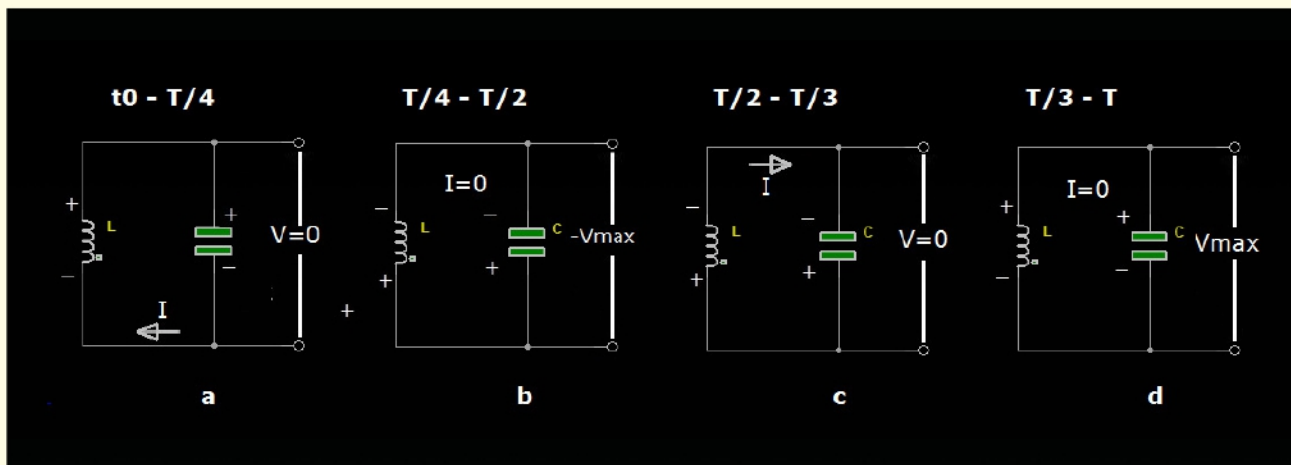


Figura 2: Fasi di funzionamento del circuito LC in un periodo

- natura della frequenza della forma d'onda di uscita: oscillatori a frequenza fissa ed a frequenza variabile o sintonizzabile.

IL CIRCUITO RISONANTE LC

Il circuito risonante LC mostrato in **Figura 1** è l'oscillatore sinusoidale più elementare. È costituito da due elementi passivi: un induttore di induttanza L ed un condensatore di capacità C .

Il circuito risonante LC viene chiamato circuito a serbatoio (in inglese "Tank circuit") perché l'induttore e il condensatore immagazzinano energia, nel condensatore sotto forma di campo elettrico e nell'induttore sotto forma di campo magnetico. L'energia viene scambiata alternativamente (oscillando) tra i due elementi. Analizziamo il funzionamento del circuito oscillatore LC considerando inizialmente completamente scarico il condensatore e l'induttore, e che il verso della corrente sia quello fisico effettivo, ossia non convenzionale. Si consideri, inoltre, che l'analisi è descritta in un periodo di tempo T della sinusoide prodotta dall'oscillazione.

Da $t=0$ a $t=T/4$ - Il condensatore si scarica

Lo switch è nella posizione 1, il condensatore, ormai carico, è scollegato dalla batteria e si trova in parallelo all'induttore su cui inizia a scaricarsi. La corrente di elettroni fluisce dal terminale inferiore del condensatore verso il terminale inferiore dell'induttore. Nell'induttore si produce un campo magnetico, di conseguenza si genera una forza elettromotrice (f.e.m.) per autoinduzione, che si oppone all'aumento di corrente assumendo una polarità in cui il terminale inferiore dell'induttore diventa negativo per respingere gli elettroni, e quindi contrastare l'aumento di corrente. Nell'intervallo di tempo da $t=0$ a $t=T/4$, il condensatore si scarica gradualmente; mentre l'energia si trasferisce dal condensatore all'induttore, la corrente cresce fino ad assumere il massimo valore e la tensione ai capi del circuito LC decresce fino ad annullarsi (**Figura 2a**).

Da $t=T/4$ a $t=T/2$ - L'induttore diventa generatore di tensione

Al tempo $t=T/4$, il condensatore si è scaricato ed è vuoto. L'energia è tutta nell'induttore che inizia a caricare il

QUELLO CHE HAI LETTO È UN ESTRATTO, L'ARTICOLO COMPLETO È RISERVATO AGLI ABBONATI AD ELETTRONICA OPEN SOURCE.

PERCHÉ ABBONARSI A PLATINUM 2.0?

UN ANNO DI **FIRMWARE 2.0**
TUTTI GLI ARTICOLI TECNICI RISERVATI
CONTEST E PROMOZIONI RISERVATI



VOGLIO ABBONARMI!

ABBONATI A

Firmware 2.0

PER AVERE **TUTTA L'ELETTRONICA A PORTATA DI CLICK** E RESTARE SEMPRE AGGIORNATO SULL'ELETTRONICA EMBEDDED, I MICROCONTROLLORI E L'INNOVAZIONE TECNOLOGICA



 Elettronica Open Source

+ 150.000

REGISTERED USERS

+ 80.000 AVERAGE MONTHLY PAGEVIEWS

+ 500.000 2025 ANNUAL VISITORS

THE BIGGEST
EMBEDDED
COMMUNITY
IN ITALY

SOCIAL CONNECTIONS

f + 85.000

in + 30.000

CATEGORIES

PROFESSIONALS

53 %

ACADEMICS/STUDENTS

25 %

MAKERS/HOBBYISTS

22 %

